# 不同纤维和蛋白质水平饲粮对12月龄焉耆马营养物质消化代谢、血浆生化指标的影响

刘　凯[1]　李晓斌[1]　陈学济[1]　徐向君[1]　阿尔斯林[2]　杨开伦[1*]

（1.新疆农业大学动物科学学院，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052；2.新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县宝奇焉耆马种马场，焉耆 841100）

摘　要：本试验旨在研究不同纤维和蛋白质水平饲粮对12月龄焉耆马营养物质消化代谢、血浆生化指标的影响，为焉耆马的科学饲养提供理论依据。试验选取年龄为12月龄、平均体重为（191±20） kg的焉耆马公马12匹，随机分为2组，每组6匹；采用分期分组的设计方法，第1期为试验Ⅰ组、试验Ⅱ组，第2期为试验Ⅲ组和试验Ⅳ组，各组饲喂不同纤维和蛋白质水平的饲粮（各组饲粮中纤维和蛋白质水平分别为76.59%、6.81%，74.21%、7.88%，71.82%、8.94%，69.41%、10.01%），进行21 d的消化代谢试验，其中预试期15 d，正试期6 d。结果表明：焉耆马对饲粮中干物质、有机物、粗蛋白质、钙、磷摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势，但中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维摄入量呈下降趋势；焉耆马对干物质、有机物、粗蛋白质、钙、磷的消化率（试验Ⅰ组除外）以及消化能和代谢能随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，其中试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ组钙、磷的消化率比试验Ⅰ组分别提高10.78%（$P>0.05$）、19.48%（$P>0.05$）、7.46%（$P>0.05$），10.44%（$P>0.05$）、7.60%（$P>0.05$）；试验Ⅲ组、试验Ⅳ组代谢能显著高于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P<0.05$）。就氮、钙、磷代谢而言，焉耆马体内钙、磷的沉积率也呈增加趋势，但增加饲粮中蛋白质水平对氮沉积率无显著影响（$P>0.05$）；各组血浆中总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿素氮、谷氨酰胺含量无显著差异（$P>0.05$）。由此得出，提高焉耆马饲粮中的蛋白质水平可增加营养物

---

收稿日期：2015-11-03

基金项目："十二五"农村领域国家科技计划课题资助（2012BAD45B02）

作者简介：刘　凯（1987-），男，河南郑州人，硕士研究生，研究方向为草食动物营养代谢。E-mail: 459605651@qq.com

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail: yangkailun2002@aliyun.com

质的摄入量，提高营养物质的消化率和沉积量，且以饲粮中纤维水平为 69.41%、蛋白质水平为 10.01%时最佳，但对血浆生化指标无显著影响。

关键词：饲粮；焉耆马；纤维；蛋白质；消化代谢；血浆生化指标

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

饲粮营养平衡是动物生产的基础，饲粮中纤维和蛋白质水平不合适或粗饲料饲喂不恰当会导致动物健康受损，饲粮中营养物质利用率降低甚至会导致动物出现疾病或死亡[1]。因此，适宜的饲粮蛋白质、纤维水平是科学饲养的基础，粗饲料的合理使用对改善动物体内物质代谢和提高动物生产性能具有重要意义。焉耆马是新疆耐力马的一个优良品种，主要分布于巴音郭楞蒙古自治州和静县、和硕县，体质结实、结构匀称、骨骼粗壮，是典型的乘挽兼用型马，具有工作持久性强，骑乘耐力、速度亦佳，耐粗饲等特点。焉耆马的成熟年龄为 3 岁左右，其中 12 月龄是焉耆马体格生长的关键时期，对今后的运动性能、繁殖性能有较大的影响，因此科学的饲养管理对焉耆马的生长发育及生产性能至关重要，但目前对焉耆马的营养需要量研究甚少，且尚未制定焉耆马的营养需要标准。因此，本试验以 12 月龄焉耆公马为试验对象，在参考 NRC（2007）[2]马营养需要量的基础上，为该年龄段的马匹设置了 4 个不同纤维和蛋白质水平的饲粮，采用消化代谢的试验方法，测定不同纤维和蛋白质水平饲粮下马匹对饲粮主要营养成分的消化代谢率，建立焉耆马营养物质摄入量与沉积量之间的数学关系，为今后 12 月龄焉耆马的科学饲养提供依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验时间与地点

本试验于2013年7月至2013年9月在新疆巴音郭楞蒙古自治州宝奇焉耆马种马场进行。

### 1.2　试验动物

本试验选取年龄为12月龄、平均体重为（191±20） kg的焉耆马公马12匹，随机分为2组，每组6匹。

### 1.3　试验设计

试验采用分期分组的试验方法进行。试验分2期：第1期为试验Ⅰ组、试验Ⅱ组，第2期为试验Ⅲ组和试验Ⅳ组，各组饲喂不同纤维和蛋白质水平的饲粮（各组饲粮中纤维和蛋白质水平分别为76.59%、6.81%，74.21%、7.88%，71.82%、8.94%，69.41%、10.01%，其中精料为颗粒精料，粗料为燕麦秸秆），试验设计和分组见表1。每期进行为期21 d的消化代谢试验，其中预试期15 d，正试期6 d。第1期与第2期间饲草料转化期9 d。预试期开始之前对马匹进行空腹称重；正试期内每天每2 h收集每匹马排出的全部粪样、尿样；试验期结束次日早晨对马匹进行空腹称重并静脉采血。

表 1　试验设计和分组

Table 1　Experiment design and group

| 项目 Items | 马匹数 Number of horse | 颗粒精料 Pelleted concentrate/kg | 燕麦秸秆 Oat straw/kg | 饲粮中纤维水平 Dietary fiber level/% | 饲粮中蛋白质水平 Dietary protein level/% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ | 6 | 0.8 | 8.2 | 76.59 | 6.81 |
| 试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ | 6 | 1.4 | 7.6 | 74.21 | 7.88 |
| 试 验 Ⅲ 组 Trail groupⅢ | 6 | 2.0 | 7.0 | 71.82 | 8.94 |
| 试 验 Ⅳ 组 Trail group Ⅳ | 6 | 2.6 | 6.4 | 69.41 | 10.01 |

### 1.4　动物饲粮与饲养管理

所有马匹同一环境条件下饲养，整个试验期所有试验马匹均采用单槽、单圈舍饲养。同时结合马匹的采食习性，将全天的饲粮分为5次进行饲喂（分别在08:00、12:30、17:00、21:00

和00:00），饲喂方式为先精后粗，少量多次，以确保所有饲粮全部采食完毕，自由饮水。饲粮组成及营养水平见表2。

表 2　饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of diets (DM basis)　　%

| 项目<br>Items | 试验I组<br>Trail group Ⅰ | 试验II组<br>Trail group Ⅱ | 试验III组<br>Trail group Ⅲ | 试验IV组<br>Trial group Ⅳ组 |
|---|---|---|---|---|
| 原料 Ingredients | | | | |
| 玉米 Corn | 4.50 | 8.00 | 11.00 | 14.5 |
| 麸皮 Wheat bran | 0.90 | 1.60 | 2.20 | 2.90 |
| 次粉 Wheat midding | 0.90 | 1.60 | 2.20 | 2.90 |
| 大豆粕 Soy bean meal | 2.34 | 4.16 | 5.72 | 7.54 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 0.23 | 0.40 | 0.55 | 0.73 |
| 食盐 NaCl | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.15 |
| 预混料 Premix | 0.08 | 0.16 | 0.22 | 0.28 |
| 燕麦秸 Oat straw | 91.00 | 84.00 | 78.00 | 71.00 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels | | | | |
| 干物质 DM | 94.23 | 93.95 | 93.68 | 93.41 |
| 有机物 OM | 93.95 | 93.98 | 94.00 | 94.03 |
| 粗蛋白质 CP | 6.81 | 7.88 | 8.94 | 10.01 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 50.20 | 49.30 | 48.40 | 47.49 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 26.39 | 24.91 | 23.42 | 21.92 |
| 钙 Ca | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.15 |
| 磷 P | 0.16 | 0.21 | 0.26 | 0.31 |

预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 480 IU，$VB_1$ 816.32 mg，$VB_2$ 333.2 mg，$VB_6$ 48.96 mg，VD 70.4 IU，VE 21 333.36 IU，泛酸 pantothenic

acid 20.46 mg，烟酰胺 nicotinamide 484.85 mg，Cu (as copper sulfate) 10.58 mg，Fe (as ferrous sulfate) 35.56 mg，Mn (as manganese sulfate) 33.54 mg，Zn (as zinc sulfate) 30.92 mg，I (as potassium iodide) 2.46 mg，Se ( as sodium selenite) 5.93 mg，Co (as cobalt chloride) 1.11 mg。

1.5 样品的采集及保存

1.5.1 饲粮样品的采集及保存

正试期对颗粒精料和燕麦秸秆样品进行采集，将风干的饲草料经 40 目粉碎机粉碎后待测。

1.5.2 粪、尿样的采集及保存

粪样：正试期内使马匹全天保持站立状态，使用自制收粪装置，全天每 2 h 收集马匹粪样 1 次并称重，将收集的全天粪样完全混匀，随机抓取粪样总重的 10%，放入已编号的样品袋中，自然风干后称重。将试验马匹连续 6 d 自然风干的粪样混匀，取 1 kg 作好记录封存待测。

尿样：正试期内使马匹全天保持站立状态，使用自制收尿装置，全天每 2 h 收集马匹尿液 1 次，将全天尿液充分摇匀，用量筒测定总体积并取 10%，加入 5%的浓硫酸后存入塑料瓶，封闭保存并做好记录。将试验马匹连续 4 d 收集的尿样混匀，取 1 L 保存待测。

1.5.3 血液样品的采集及保存

试验期结束当天早晨，对马匹空腹静脉采血，每匹马采血 10 mL 至肝素钠抗凝采血管，1 500×*g* 离心 20 min 制得血浆，然后用移液枪将血浆分装于 2 mL 离心管中，放入-20 ℃冰箱中保存待测。

1.6 样品的测定

1.6.1 饲草料、尿液及粪便中营养成分的测定

精料补充料、燕麦秸秆、粪样中干物质（dry matter,DM）、有机物（organic matter,OM）、磷（phosphorus,P）的含量均采用常规饲料分析方法[3]进行测定，钙（calcium,Ca）含量采用

邻甲酚酞比色法[4]进行测定。尿液中磷含量采用定磷法[5]进行测定。总能（gross energy,GE）采用 HR-15 氧弹式热量计测定，中性洗涤纤维（neutral detergent fiber,NDF）和酸性洗涤纤维（acid detergent fiber,ADF）含量采用美国 ANKOM 纤维分析仪进行测定，粗蛋白质（crude protein,CP）含量采用德国 Elementar Analysen Systeme 快速定氮仪测定。

1.6.2　血浆生化指标的测定

血浆中总蛋白（total protein,TP）、白蛋白（albumin,ALB）、尿素氮（urea nitrogen,UN）含量采用购自中生北控生物科技股份有限公司的试剂盒（货号分别为 2090-2003、2074-2003、2102-2003）测定；血浆中球蛋白（globulin,GLB）、谷氨酰胺（glutamine,Gln）含量采用购自北京华英生物技术公司生产的试验盒（货号分别为 HY-N0013、HY-60057）测定。

1.7　数据计算及处理

数据的计算主要参考袁缨[6]的方法。试验数据均以平均值±标准差表示，应用 SPSS 16.0 统计软件对试验数据进行方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行。

2　结　果

2.1　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马营养物质摄入量、消化量、消化率的影响

由表 3 可知，焉耆马对 OM、CP 的摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势，其中试验Ⅳ组 CP 摄入量显著高于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P<0.05$）；但随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马对 NDF、ADF 的摄入量呈下降趋势，且试验Ⅳ组 ADF 摄入量显著低于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P<0.05$）；Ca、P 摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加呈增加趋势，试验IV组 Ca、P 摄入量与试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验III组相比差异显著（$P<0.05$）。

随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马对 DM、OM 的消化量呈增加趋势，但各组间差异不显著（$P>0.05$）；焉耆马对 CP 的消化量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验Ⅳ组、试验III组显著高于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P<0.05$）；Ca、P 的消化量也随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验Ⅳ组 Ca、P 消化量显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验III组（$P<0.05$）。

随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马对 DM、OM、CP 的消化率呈上升趋势，但各组间差异不显著（$P$＞0.05）。试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组 NDF、ADF 的消化率随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势（$P$＞0.05）；随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马对 Ca、P 的消化率也呈上升趋势，且试验Ⅳ组 Ca、P 消化量显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组（$P$＜0.05）。

表 3　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马营养物质摄入量、消化量、消化率的影响

(干物质基础，代谢体重基础)

Table 3　Effects of different dietary fiber and protein levels on nutrient intake, digestion amount and digestibility of 12 months old *Yanqi* horse (DM basis, $W^{0.75}$ basis, $n$=6)

| 项目 Items | | 试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ | 试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ | 试验Ⅲ组 Trail group Ⅲ | 试验Ⅳ组 Trial group Ⅳ |
|---|---|---|---|---|---|
| 摄入量 Intake | 干物质 DM/[g/(匹・d)] | 153.69±7.93 | 159.65±5.75 | 160.00±7.16 | 159.98±13.25 |
| | 有机物 OM/[g/(匹・d)] | 144.40±7.45 | 150.04±5.40 | 150.40±6.73 | 150.43±12.45 |
| | 粗蛋白质 CP/[g/(匹・d)] | 11.03±1.32$^{c}$ | 12.40±0.67$^{bc}$ | 13.95±0.58$^{ab}$ | 14.39±0.67$^{a}$ |
| | 中性洗涤纤维 NDF/[g/(匹・d)] | 83.36±6.76 | 78.56±3.04 | 77.43±3.47 | 75.82±6.49 |
| | 酸性洗涤纤维 ADF/[g/(匹・d)] | 40.56±2.09$^{a}$ | 39.51±1.76$^{a}$ | 37.37±1.68$^{ab}$ | 34.83±3.23$^{b}$ |
| | 钙 Ca/[mg/(匹・d)] | 163.25±19.05$^{c}$ | 183.22±10.28$^{bc}$ | 206.24±10.01$^{b}$ | 242.33±19.49$^{a}$ |
| | 磷 P/[mg/(匹・d)] | 241.75±14.61$^{D}$ | 317.75±34.77$^{C}$ | 413.62±17.92$^{B}$ | 509.74±31.59$^{A}$ |
| 消化量 Digestion Amount | 干物质 DM/[g/(匹・d)] | 106.18±7.12 | 114.95±4.60 | 116.28±0.40 | 118.17±7.38 |
| | 有机物 | 102.77±6.55 | 111.38±3.73 | 112.65±0.37 | 113.65±7.02 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | OM/[g/(匹·d)] | | | | |
| | 粗蛋白质 CP/[g/(匹·d)] | 6.93±1.35$^{b}$ | 7.93±0.98$^{ab}$ | 9.44±1.50$^{a}$ | 10.11±0.89$^{a}$ |
| | 中性洗涤纤维 NDF/[g/(匹·d)] | 49.93±9.08 | 51.99±1.84 | 53.06±7.16 | 50.53±3.50 |
| | 酸性洗涤纤维 ADF/[g/(匹·d)] | 23.10±3.28 | 24.36±1.28 | 23.85±2.51 | 21.52±2.06 |
| | 钙 Ca/[mg/(匹·d)] | 57.65±13.06$^{c}$ | 71.25±5.88$^{bc}$ | 86.73±14.16$^{b}$ | 107.92±2.60$^{a}$ |
| | 磷 P/[mg/(匹·d)] | 92.69±31.70$^{b}$ | 134.31±14.51$^{b}$ | 125.33±35.87$^{b}$ | 209.28±2.03$^{a}$ |
| 消化率 Digestibility/% | 干物质 DM | 69.18±5.47 | 72.06±3.39 | 72.56±4.74 | 74.00±3.05 |
| | 有机物 OM | 71.26±5.06 | 74.28±3.02 | 74.78±4.62 | 75.68±2.86 |
| | 粗蛋白质 CP | 62.62±7.18 | 63.95±6.54 | 67.49±8.22 | 67.90±0.64 |
| | 中性洗涤纤维 NDF | 59.66±7.30 | 66.26±4.05 | 68.34±6.42 | 66.79±3.63 |
| | 酸性洗涤纤维 ADF | 57.19±9.78 | 61.79±5.36 | 63.53±4.71 | 61.94±5.06 |
| | 钙 Ca | 35.07±4.22 | 38.85±1.18 | 41.90±4.79 | 44.70±3.20 |
| | 磷 P | 38.31±12.36 | 42.31±1.99 | 30.10±7.63 | 41.22±3.34 |

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P$＞0.05)，不同小写字母表示差异显著($P$＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著($P$＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P$＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P$＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P$＞0.01). The same as below.

## 2.2 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马能量代谢的影响

由表 4 可知，随着饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马对 GE 摄入量呈上升趋势，试验II

组、试验III组、试验Ⅳ组 GE 摄入量比试验I组分别提高 3.71%（$P$>0.05）、3.98%（$P$>0.05）、7.42%（$P$>0.05）；但增加饲粮中蛋白质水平对粪能和尿能无显著影响（$P$>0.05）。焉耆马的消化能和代谢能随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，其中试验III组、试验Ⅳ组代谢能显著高于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P$<0.05）。

以 GE 摄入量为横坐标，消化能为纵坐标作图（图 1），得出 12 月龄焉耆 GE 摄入量与消化能之间的线性回归方程为 $y$=0.810 6$x$-0.409 2（$R^2$=0.704 9）。

表 4　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马能量代谢的影响(代谢体重基础)

Table 4　Effects of different dietary fiber and protein levels on energy metabolism of 12 months old *Yanqi* horse

($W^{0.75}$ basis, $n$=6)　　MJ/(匹・d)

| 项目 Items | 试验I组 Trail group Ⅰ | 试验II组 Trail group Ⅱ | 试验III组 Trail group Ⅲ | 试验IV组 Trial group Ⅳ |
|---|---|---|---|---|
| 总能摄入量 GE intake | 3.77±0.19 | 3.91±0.14 | 3.92±0.17 | 4.05±0.21 |
| 粪能 Feces energy | 1.18±0.24 | 1.14±0.19 | 1.09±0.12 | 1.18±0.14 |
| 尿能 Urinary energy | 0.30±0.12 | 0.24±0.07 | 0.33±0.27 | 0.20±0.03 |
| 消化能 Digestible energy | 2.60±0.16 | 2.77±0.11 | 2.83±0.28 | 2.87±0.13 |
| 代谢能 Metabolism energy | 2.29±0.19[b] | 2.49±0.23[ab] | 2.53±0.17[a] | 2.68±0.16[a] |

总能摄入量为实测值。GE intake was a measured value.

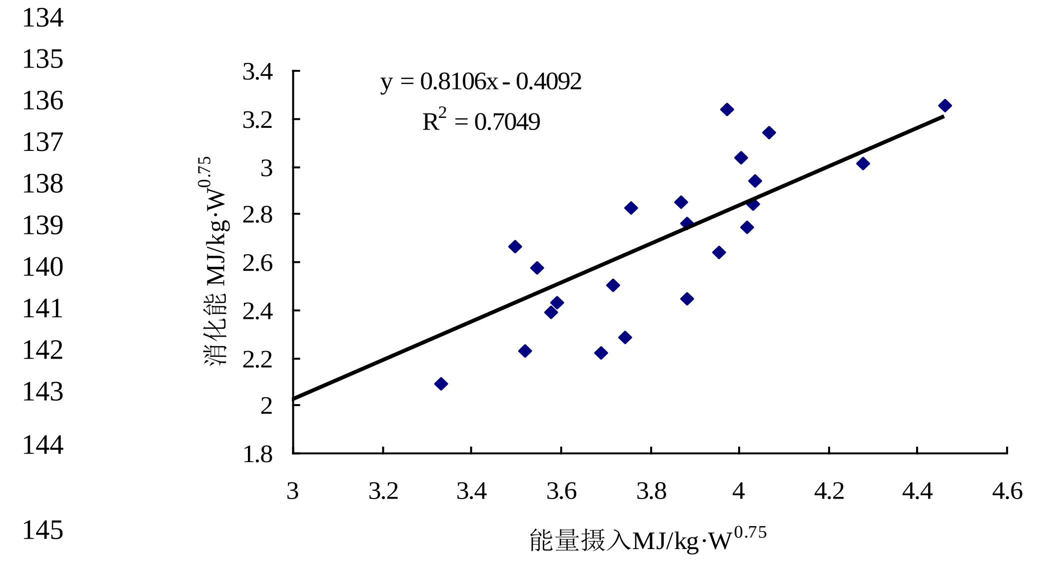



图 1　12 月龄焉耆总能摄入量与消化能之间的线性回归关系

Fig.1　Linear regression relationship between GE intake and digestible energy of 12 months old *Yanqi* horse

## 2.3　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马氮代谢的影响

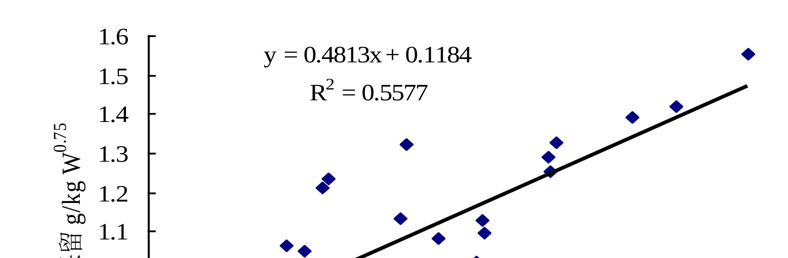
由表 5 可知，焉耆马对氮摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组及试验Ⅱ组（$P$＜0.05）；各组粪氮排出量差异不显著（$P$＞0.05）；试验III组、试验Ⅳ组尿氮排出量显著高于试验I组、试验Ⅱ组（$P$＜0.05）；随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马体内氮沉积量呈上升趋势，试验II组、试验III组、试验Ⅳ组氮沉积量比试验I组分别提高 19.15%（$P$＞0.05）、21.28%（$P$＞0.05）、34.04%（$P$＞0.05）；各组氮沉积率均在 53.00%左右，组间差异不显著（$P$＞0.05）。

以氮摄入量为横坐标，氮沉积量为纵坐标作图（图2），得出12月龄焉耆氮摄入量与氮沉积量之间的线性回归方程为$y$=0.481 3$x$+0.118 4（$R^2$=0.557 7）。

表 5　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马氮代谢的影响(代谢体重基础)

Table 5　Effects of different dietary fiber and protein levels on nitrogen metabolism of 12 months old *Yanqi* horse ($W^{0.75}$ basis, $n$=6)

| 项目 Items | 试验I组 Trail group Ⅰ | 试验II组 Trail group Ⅱ | 试验III组 Trail group Ⅲ | 试验IV组 Trial group Ⅳ |
|---|---|---|---|---|
| 氮摄入量 Nitrogen intake/[g/(匹・d)] | 1.76±0.21[c] | 1.98±0.11[bc] | 2.23±0.09[ab] | 2.30±0.11[a] |
| 粪氮排出量 Feces nitrogen output/[g/(匹・d)] | 0.66±0.12 | 0.71±0.13 | 0.72±0.16 | 0.68±0.06 |
| 尿氮排出量 Urinary nitrogen output/[g/(匹・d)] | 0.17±0.05[b] | 0.15±0.03[b] | 0.37±0.15[a] | 0.36±0.01[a] |
| 氮沉积量 Nitrogen retention/[g/(匹・d)] | 0.94±0.18 | 1.12±0.19 | 1.14±0.14 | 1.26±0.14 |
| 氮沉积率 Nitrogen retention rate/% | 53.13±7.54 | 56.47±8.29 | 50.83±4.03 | 53.57±1.87 |



### 2.4　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马 Ca、P 代谢的影响

由表6可知，焉耆马对Ca摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组、试验II组、试验III组（$P$＜0.05）；粪Ca排出量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组（$P$＜0.05），但各组尿Ca排出量无显著差异（$P$＞0.05）。随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马体内Ca沉积量、Ca沉积率增加，以试验Ⅳ组为最高，且试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验III组（$P$＜0.05）。

随饲粮中蛋白质水平的增加，P摄入量极显著增加（$P$＜0.01）；粪P排出量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且试验III组、试验Ⅳ组显著高于试验I组及试验Ⅱ组（$P$＜0.05）。就尿P排出量而言，试验Ⅱ组、试验III组、试验Ⅳ组均高于试验Ⅰ组，但以试验Ⅱ组为最高，与试验Ⅰ组的差异达到显著水平（$P$＜0.05）；随饲粮中蛋白质水平的增加，焉耆马体内P沉积量增加，试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验III组（$P$＜0.05）。

以Ca摄入量为横坐标，Ca沉积量为纵坐标作图（图3），得出12月龄焉耆Ca摄入量与Ca沉积量之间的线性回归方程为$y$=0.582 5$x$-74.423（$R^2$=0.6073），表明在一定范围内Ca沉积量与Ca摄入量呈正相关；以P摄入量为横坐标，P沉积量为纵坐标作图（图4），得出12月龄焉耆P摄入量与P沉积量之间的线性回归方程为$y$=0.182 9$x$+59.399（$R^2$=0.149），表明在一定范围内P沉积量与P摄入量呈正相关。

表6　不同纤维和蛋白质水平饲粮对12月龄焉耆马钙、磷代谢的影响(代谢体重基础)

Table 6　Effects of different dietary fiber and protein levels on metabolism of Ca and P of 12 months old *Yanqi* horse ($W^{0.75}$ basis, $n$=6)　mg/(匹・d)

| 项目 Items | 试验I组 Trail group Ⅰ | 试验II组 Trail group Ⅱ | 试验III组 Trail group Ⅲ | 试验IV组 Trial group Ⅳ |
|---|---|---|---|---|
| 钙代谢 Ca metabolism | | | | |
| 钙摄入量 Ca intake/[mg/(匹・d)] | 163.25±19.05$^{c}$ | 183.22±10.28$^{bc}$ | 206.24±10.01$^{b}$ | 242.33±19.49$^{a}$ |
| 粪钙排出量 Feces Ca output/[mg/(匹・d)] | 105.60±8.55$^{b}$ | 111.98±4.73$^{b}$ | 119.51±4.61$^{ab}$ | 134.41±18.06$^{a}$ |
| 尿钙排出量 Urinary Ca output/[mg/(匹・d)] | 43.28±13.06 | 42.89±3.40 | 45.67±11.13 | 36.67±5.47 |
| 钙沉积量 Ca retention/[mg/(匹・d)] | 14.37±2.17$^{d}$ | 28.35±7.94$^{c}$ | 41.06±6.77$^{b}$ | 71.25±8.07$^{a}$ |
| 钙沉积率 Ca retention rate/% | 8.92±2.06$^{c}$ | 15.34±3.61$^{b}$ | 19.87±3.01$^{b}$ | 29.43±2.74$^{a}$ |
| 磷代谢 P metabolism | | | | |
| 磷摄入量 P intake/[mg/(匹・d)] | 241.75±14.61$^{D}$ | 317.75±34.77$^{C}$ | 413.62±17.92$^{B}$ | 509.74±31.59$^{A}$ |
| 粪磷排出量 Feces P output/[mg/(匹・d)] | 149.06±31.38$^{b}$ | 183.44±22.81$^{b}$ | 288.28±22.41$^{a}$ | 300.46±39.58$^{a}$ |
| 尿磷排出量 Urinary P output/[mg/(匹・d)] | 0.42±0.02$^{b}$ | 1.00±0.36$^{a}$ | 0.53±0.07$^{ab}$ | 0.70±0.46$^{ab}$ |
| 磷沉积量 P retention/[mg/(匹・d)] | 92.26±31.71$^{b}$ | 134.30±14.28$^{b}$ | 125.33±35.87$^{b}$ | 209.28±2.03$^{a}$ |
| 磷沉积率 P retention rate/% | 38.13±12.37 | 42.00±2.04 | 29.97±7.62 | 41.09±3.41 |

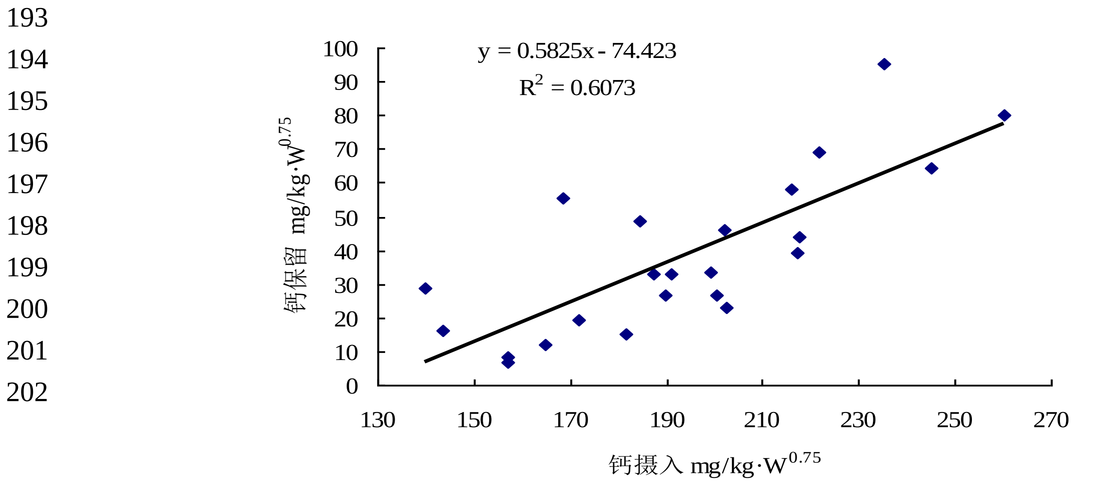



图 3　12 月龄焉耆马钙摄入量与钙沉积量之间的线性回归关系

Fig.3　Linear regression relationship between Ca intake and Ca retention of 12 months old *Yanqi* horse

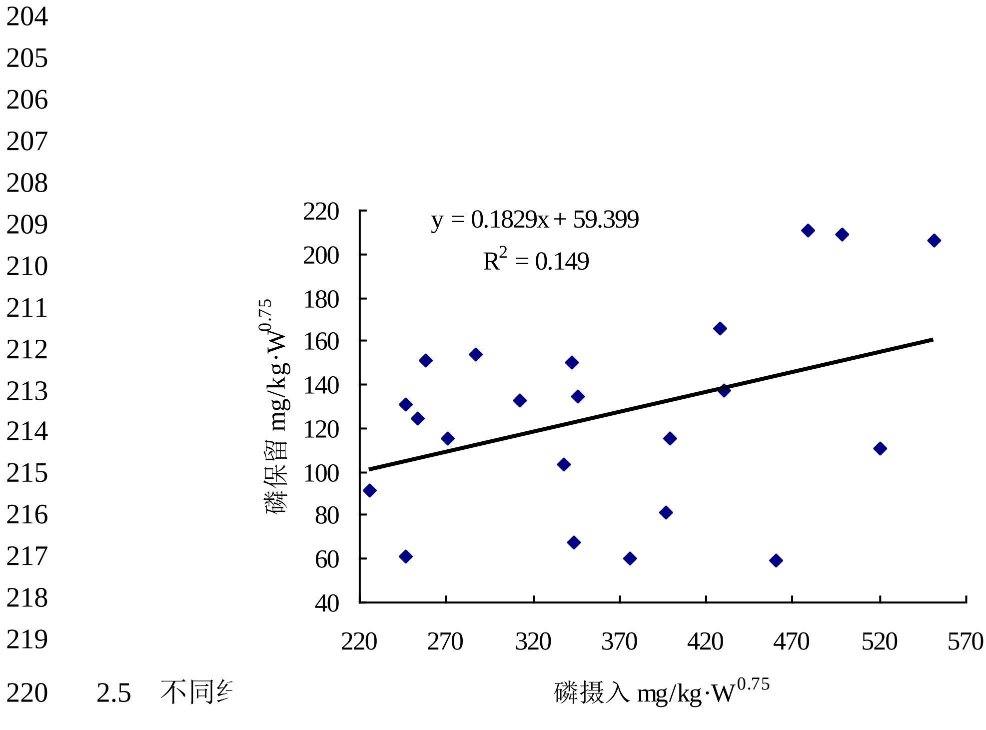



图 4　12 月龄焉耆马磷摄入量与沉积量之间的线性回归关系

Fig.4　Linear regression relationship between P intake and P retention of 12 months old *Yanqi* horse

2.5　不同纟

由表 7 可 … LB、ALB 含量无显著影响（*P*> 0.05），… 就血浆 UN 含量而言，各组间差异不显著（*P*>0.05），但试验Ⅱ组、试验Ⅳ组低于试验Ⅰ组及试验Ⅲ组；随饲粮中蛋白质水平的增加，血浆中 Gln 含量呈上升趋势，但各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 7　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马血浆生化指标的影响

Table 7　Effect of different dietary fiber and protein levels on plasma biochemical indices of 12 months old *Yanqi* horse (*n*=6)

| 项目 Items | 试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ | 试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ | 试验Ⅲ组 Trail group Ⅲ | 试验Ⅳ组 Trial group Ⅳ |
|---|---|---|---|---|
| 总蛋白 TP/(g/L) | 57.69±4.14 | 62.72±4.27 | 60.20±6.48 | 61.09±4.97 |
| 白蛋白 ALB/(g/L) | 13.74±2.08 | 15.89±3.84 | 14.51±4.48 | 16.77±3.96 |
| 球蛋白 GLB/(g/L) | 43.95±5.18 | 46.83±2.88 | 45.69±4.83 | 44.32±4.29 |
| 尿素氮 UN/(mmol/L) | 3.19±0.58 | 2.94±0.56 | 3.68±0.87 | 3.15±0.87 |
| 谷氨酰胺 Gln/(mmol/L) | 0.70±0.12 | 0.75±0.18 | 0.75±0.10 | 0.81±0.15 |

## 3　讨　论

### 3.1 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马营养物质摄入量的影响

饲粮中合理的精粗比例是科学饲养的基础，也是动物获取营养物质的保证。影响动物采食量的因素有很多，包括动物生理状态、饲粮类型、环境、饲喂技术等。研究表明动物饲粮中蛋白质水平的提高有利于提高 DM 的采食量，但降低了粗料的采食量[7]。对马而言，适宜的饲粮蛋白质水平不仅能够满足马对营养物质的需求，更是其健康生长的前提。Dulphy 等[8]报道，饲粮的质量下降，如增加饲料中粗纤维或减少 CP 的量，会导致马的采食量下降。

本试验中焉耆马的营养物质摄入量随着饲粮中蛋白质水平的增加而发生改变。饲喂蛋白质水平分别为 8.94%、10.01%的饲粮时，焉耆马对 DM、OM 的摄入量有所提高。饲粮中蛋白质水平从 6.81%增加到 10.01%，饲粮中蛋白质水平增加、纤维水平降低，导致焉耆马对 NDF、ADF 的摄入量呈下降趋势。焉耆马对 Ca、P 的摄入量也受饲粮纤维和蛋白质水平的影响，试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ组 Ca 的摄入量分别比试验Ⅰ组增加了 12.23%、26.33%、48.44%；随饲粮中蛋白质水平的增加，P 的摄入量极显著增加。因此，饲粮中蛋白质水平的增加，即纤维水平降低，改善了饲粮的质量，从而提高焉耆马对 DM、OM、CP、Ca、P 的摄入量。

### 3.2 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马营养物质消化率的影响

饲粮中纤维和蛋白质水平对动物营养物质的消化代谢有重要影响，在动物饲养中占有重要地位。NDF、ADF 的消化率反映出动物对结构性碳水化合物的利用能力，而饲粮中纤维水平过高将降低动物对饲粮中 CP、E、Ca、P 等的利用率。饲粮中纤维的消化率受粗饲料细胞壁结构、动物采食量、食糜流通与消化速率以及饲粮加工调制等许多因素的影响[9]。Slade 等[10]研究表明，马对饲粮中氮和 CP 的消化能力与 DM 摄入量和饲粮蛋白质水平有关，随着 DM 摄入量和饲粮蛋白质水平的增加，CP 的消化率也增加。Hintz 等[11]研究饲喂不同精粗比饲粮对矮马消化道食糜消化率的影响，结果表明，随饲粮精粗比的增加，马对饲粮中 DM、OM、CP、NDF、ADF 的消化率增加。

在本试验中，随着饲粮蛋白质水平的增加，12 月龄焉耆马对饲粮中营养物质的消化率整体呈上升趋势。DM 的消化率随饲粮中蛋白质水平的增加逐渐升高，以试验Ⅳ组最为明显，其次是试验Ⅲ组和试验Ⅱ组，试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ组相比试验Ⅰ组分别提高了 6.97%、4.89%、4.16%。OM、CP、Ca 的消化率也随着饲粮中蛋白质水平的增加而升高。但饲粮中 P 消化率不随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，以试验Ⅲ组 P 的消化率最低，这可能与马的生理状态等因素有关。此外，本试验中 NDF、ADF 的消化率随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，可能是由于焉耆马摄入的蛋白质有益于焉耆马盲肠处降解纤维的微生物增殖[12]，从而使饲粮中纤维的消化率增加；同时，饲粮中纤维水平的降低，即蛋白质水平增加可提高 DM、Ca 的消化量，并使各组消化能、氮沉积量呈上升趋势。以上结果表明，随饲粮中蛋白质水平的增加，12 月龄焉耆马对饲粮中营养物质的消化率增加。

### 3.3 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马能量代谢的影响

动物在采食饲粮后，饲粮中的蛋白质、碳水化合物和脂肪在动物机体内经过一系列的消化和代谢产生的能量，最终以 ATP 的形式满足机体需要。饲粮中能量的多少取决于饲粮结构。Miraglia 等[13]使用精粗比分别为 100:0、75:25、50:50 的 3 种饲粮对 4 匹体重约为 550 kg 的马进行消化代谢试验，结果表明，随饲粮中精料比例的增加，GE 摄入量增加，消化能也呈增加趋势。

本试验结果表明，12 月龄焉耆马 GE 摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势，与 Miraglia 等[13]的研究结果一致。消化能、代谢能也随饲粮中蛋白质水平的增加而上升，且饲粮中蛋白质水平为 10.01%时，12 月龄焉耆马的消化能和代谢能最高。Barth 等研究表明，190 kg 的育成马平均每天所需能量为 2.87 MJ/(匹·d)（代谢体重基础）。NRC（2007）[2]推荐，成熟体重为 400 kg 的马，12 月龄时体重为 257 kg，每天所需的能量为 0.98 MJ/(匹·d)（代谢体重基础）。本试验通过消化代谢试验得出 12 月龄焉耆马的能量适宜需要量为 2.78 MJ/(匹·d)（代谢体重基础），与 Barth 等的研究结果相似，但高于 NRC（2007）[2]中推荐量，

这可能与马的品种、饲养环境有关。

3.4　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马氮代谢的影响

氮代谢是反映饲粮氮平衡的重要指标。影响动物氮代谢的因素很多，包括饲粮结构、营养水平、动物自身消化吸收能力，而饲粮蛋白质水平是决定动物体内氮代谢的直接因素。Slade 等[10]研究表明，非做工状态下的马体内氮沉积量随饲粮蛋白质水平的增加而增加。Pfeiffer 等[14]研究发现，CP 摄入过量和饲粮中氨基酸不平衡导致尿氮排出量增加，使氮的利用率降低，CP 摄入量和尿氮排出量存在相关性。

在本试验中，随饲粮中蛋白质水平的增加，12 月龄焉耆马对氮的摄入量增加，氮的沉积量也呈增加的趋势，与 Slade 等[10]研究结果一致，且饲粮中蛋白质水平为 10.01%时，12 月龄焉耆马对氮的利用率最高。12 月龄焉耆马粪氮排出量随饲粮中蛋白质水平的增加未有明显变化，但尿氮排出量随饲粮中蛋白质水平的增加而逐渐增加，与 Pfeiffer 等[14]的研究结果相似。Reitnour 等[15]研究发现，马对 CP 的最低需求量为 400 mg DP/（kg BW •d）。Olsman 等[16]研究认为马对 CP 的适宜需求量为 545 mg DP/（kg BW • d）。本试验通过消化代谢试验得出 12 月龄焉耆对 CP 的适宜需求量为 566 mg DP/（kg BW •d），与 Reitnour 等[15]和 Olsman 等[16]的研究结果接近。

3.5　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马钙、磷代谢的影响

Ca、P 是马所需的主要矿物元素，参与许多生理过程。马主要通过肠道以细胞旁通道被动转运和依靠维生素 D 细胞间转运的方式吸收 Ca 和 P[17]。马体内 Ca、P 的吸收效率与饲粮类型、营养成分、饲粮中 Ca 与 P 的比例、马的品种与年龄有关。Meyer 等[18]研究表明，饲粮中粗饲料的比例与 P 的消化率呈负相关，饲粮中粗饲料比例高，马对 P 的消化率低。Stephens 等[19]研究报道，马对 Ca 的消化率从 6 月龄开始增加，而在 24 月龄以后开始降低。Pagan 等[20]研究表明，运动状态对成熟马体内 Ca 的吸收率没有显著影响。

在本试验中，随饲粮中蛋白质水平的增加，12 月龄焉耆马对 Ca、P 的摄入量增加，对

Ca、P 的消化量和消化率也呈增加趋势，与前人研究结果一致。Schryver 等[21]研究表明，马对 Ca 的沉积率在 51%~69%之间，对 P 的沉积率通常在 30%~55%之间。本试验中 Ca、P 的沉积率分别在 8.92%~29.43%、38.13%~41.09%，P 的沉积率接近 Schryver 等[21]的研究结果，而 Ca 的沉积率远低于 Schryver 等[21]的研究结果，可能与马的生理状态有关，具体的原因有待于进一步研究。

### 3.6 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 12 月龄焉耆马血浆生化指标的影响

血浆 TP 包括 ALB 和 GLB，其含量可以反映动物饲粮中蛋白质的水平，以及动物对蛋白质消化、吸收和利用程度[22]。血浆 UN 含量是反映动物机体代谢的重要指标，不仅能够反映动物蛋白质代谢状况，而且能够反映饲粮的氨基酸平衡性[23]。褚洪忠[24]研究发现，马血清中 UN 含量与 CP 摄入量呈负相关，血清 UN 含量随着 CP 摄入量的增加而显著降低。在本试验中，各组 12 月龄焉耆马血浆中 TP 含量均处于正常范围（52~79 g/L）内[25]，但各组血浆 ALB 含量均比正常参考值（26~37 g/L）偏低，说明各组马匹营养状况略低。而血浆中 TP、ALB、GLB 含量随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势，表明提高饲粮中精料水平可改善马体内的代谢水平。随饲粮中蛋白质水平的增加，血浆中 UN 含量有下降的趋势，说明增加饲粮中蛋白质水平可提高 12 月龄焉耆马对饲粮中 CP 的利用率。

Gln 在动物胃肠受损时能够维持小肠结构和功能稳定，是维持小肠代谢的主要营养成分[26]。Gln 对机体蛋白质合成与降解、氧化应激有直接或者间接的影响[27]。在本试验中，12 月龄焉耆马血浆中 Gln 含量随饲粮中蛋白质水平的增加呈上升趋势，表明饲粮中蛋白质水平增加满足了机体内对蛋白质、氨基酸的合成与代谢的需要。

## 4 结 论

在本试验中，提高焉耆马饲粮中蛋白质水平可增加营养物质的摄入量，提高营养物质的消化率和沉积量，且以饲粮中纤维水平为 69.41%、蛋白质水平为 10.01%时最佳，但对血浆生化指标无显著影响。

参考文献：

[1] 郜玉钢,高秀华,王晓伟,等.梅花鹿饲粮适宜精粗比的研究[J].特产研究,2000(1):29–31.

[2] NRC.Nutrient requirements of horses[S].6th ed.Washington,D.C.:National Academies Press,2007.

[3] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:48–93.

[4] 傅启高,雒秋江.用邻-甲酚酞比色法测定饲料中钙含量的研究[J].动物营养学报,1996,8(3):25–30.

[5] 张龙翔,张庭芳,李令媛.生化实验方法和技术[M].2 版.北京:北京高等教育出版社,1997:235–236.

[6] 袁缨.动物营养学实验教程[M].北京:中国农业出版社,2006:105–198.

[7] OTT E A,ASQUITH R L,FEASTER J P,et al.Influence of protein level and quality on the growth and development of yearling foals[J].Journal of Animal Science,1979,49(3):620–628.

[8] DULPHY J P,MARTIN-ROSSTER W,DUBROEUCQ H,et al.Compared feeding patterns in ad libitum intake of dry forages by horses and sheep[J].Livestock Production Science,1997,52(1):49–56.

[9] 曲永利,苗树君.反刍动物日粮中蛋白质和脂肪水平对粗纤维消化率的影响[J]黄牛杂志,2003,29(1):54–57.

[10] SLADE L M,ROBINSON D W,CASEY K E.Nitrogen metabolism in nonruminant herbivores.Ⅰ.The influence of nonprotein nitrogen and protein quality on the nitrogen retention of adult mares[J].Journal of Animal Science,1970,30(5):753–760.

[11] HINTZ H F,ARGENZIO R A,SCHRYVER H F.Digestion coefficients,blood glucose levels and molar percentage of volatile acids in intestinal fluid of ponies fed varying forage-grain ratios[J].Journal of Animal Science,1971,33(5):992–995.

[12] SNIFFEN C J,ROBINSON P H.Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations[J].Journal of Dairy Science,1987,70(2):425–441.

[13] MIRAGLIA N,BERGERO D,POLIDORI M,et al.The effects of a new fibre-rich concentrate on the digestibility of horse rations[J].Livestock Science,2006,100(1):10–13.

[14] PFEIFFER A,HENKEL H,VERSTEGEN M W A,et al.The influence of protein intake on water balance,flow rate and apparent digestibility of nutrients at the distal ileum in growing pigs[J].Livestock Production Science,1995,44(2):179–187.

[15] REITNOUR C M,SALSBURY R L.Utilization of proteins by the equine species[J].American Journal of Veterinary Research,1976,37(9):1065–1067.

[16] OLSMAN A F S,HUURDEMAN C M,JANSEN W L,et al.Macronutrient digestibility,nitrogen balance,plasma indicators of protein metabolism and mineral absorption in horses fed a ration rich in sugar beet pulp[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2004,88(9/10):321–331.

[17] BRONNER F,PANSU D,STEIN W D.An analysis of intestinal calcium transport across the rat intestine[J].American Journal of Physiology:Gastrointestinal and Liver Physiology,1986,250(5 Pt 1):G561–G569.

[18] MEYER H,SCHMIDT M,LINDEMANN G,et al.Prececal and postileal digestibility of elements (Ca,P,Mg) and trace elements (Cu,Zn,Mn) in the horse[J].Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung,1982,13:61–69.

[19] STEPHENS T L,POTTER G D,GIBBS P G,et al.Mineral balance in juvenile horses in race training[J].Journal of Equine Veterinary Science,2004,24(10):438–450.

[20] PAGAN J D,HARRIS P,BREWSTER-BARNES T,et al.Exercise affects digestibility and rate of passage of all-forage and mixed diets in thoroughbred horses[J].The Journal of Nutrition,1998,128(12):2704S-2707S.

[21] SCHRYVER H F,PARKER M T,DANILUK P D,et al.Salt consumption and the effect of salt on mineral metabolism in horses[J].Cornell Veterinarian,1987,77(2):122–131.

[22] GLADE M J.Nutrition and performance of racing thoroughbreds[J].Equine Veterinary Journal,1983,15(1):31–36.

[23] STANLEY C C,WILLIAMS C C,JENNY B F,et al.Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and Jersey calves[J].Journal of Dairy Science,2002,85(9):2335–2343.

[24] 褚洪忠.不同饲养管理条件对杂交伊犁马驹生长发育影响的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012:27–32.

[25] 王俊东,刘宗平.兽医临床诊断学[M].北京:中国农业出版社,2004:89.

[26] 王书平,刘俊华.谷氨酰胺生理功能与应用研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(22):10375–10377.

[27] WU G Y,BAZER F W,DAVIS T A,et al.Arginine metabolism and nutrition in growth,health and disease[J].Amino Acids,2009,37(1):153–168.

## Effects of Different Dietary Fiber and Protein Levels on Nutrient Digestion and Metabolism, and Plasma Biochemical Indices of 12 Months Old *Yanqi* Horse

LIU Kai[1] LI Xiaobin[1] CHEN Xueji[1] XU Xiangjun[1] A Ersilin[2] YANG Kailun[1*]

（1. *College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University*，*Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, Urumqi* 830052, *China*; 2.

*Mongolian Autonomous Prefecture Bayinguoleng Baoqi Stud Farm of Yanqi Horse,*
*Yanqi* 841100, *China*）

Abstract: This test mainly studied the effects of different dietary fiber and protein levels on nutrient digestion and metabolism, and plasma biochemical indices of 12 months old *Yanqi* horse. Twenty health *Yanqi* male horses with the age of 12 months old and the average body of （191±20） kg were randomly divided into 2 groups, each group of 6 horses. Used the method of staging group, trail group I and trail group II were arranged in stage 1, and trail group III and trial group IV were arranged in stage 2. Horses in the 4 groups were fed with different fiber and protein level diets (the levels of fiber and protein in the diets were 76.59% and 6.81%, 74.21% and 7.88%, 71.82% and 8.94%, 69.41% and 10.01%, respectively). The digestion and metabolism experiment lasted for 21 d, comprised a 15 d adaptation period and 6 d trial period. The results showed that the intakes of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), calcium (Ca), phosphorus (P) of the *Yanqi* horse all showed increasing trends with the dietary protein level increasing, but the intakes of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) showed decreasing trends. The digestibility of the DM, OM, CP, Ca, P, and digestible energy (DE) and metabolism energy (ME) of *Yanqi* horse were increased with the dietary protein level increasing. Among them, the digestibility of Ca of trial groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were increased by 10.78% （$P$>0.05）, 19.48% （$P$>0.05） and 7.46%（$P$>0.05） compared with trial group Ⅰ, respectively; the digestibility of P of trial groups Ⅱ and Ⅳ were increased by 10.44%（$P$>0.05）and 7.60%（$P$>0.05） compared with group Ⅰ, respectively; the ME of trial groups Ⅱ and Ⅲ were significantly higher than that of trial groups Ⅰ and Ⅱ ($P$<0.05). In aspect of nitrogen, calcium and phosphorus metabolism, the retention rate of calcium and phosphorus of *Yanqi* horse were increased, but increasing the dietary protein level had no significant effect on nitrogen retention rate; the contents of total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB), urea nitrogen (UN) and glutamine (Gln) in plasma were not significantly different among all groups （$P$>0.05）. Therefore, increasing the dietary protein level can increase the intakes of nutrients, improve nutrient digestibility and retention, but cannot affect plasma biochemical indices, and the optimal levels of fiber and protein in the diet are 69.41% and 10.01%, respectively.

Key words: diet; *Yanqi* horse; fiber; protein; digestion and metabolism; plasma biochemical indices



---

*Corresponding author, professor, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com (责任编辑　菅景颖)